

2. Об аварийно-спасательных службах и статусе спасателей [Текст]: Федеральный закон от 22.08.1995 N 151-ФЗ// Собрание законодательства. – 1995. - № 35. – Ст. 3503.
3. О некоторых вопросах аттестации аварийно-спасательных служб, аварийно-спасательных формирований, спасателей и граждан, приобретающих статус спасателя [Текст]: Постановлением Правительства РФ от 22.12. 2011 г. N 1091// Собрание законодательства. – 2011. - № 2. – Ст. 280.
4. Об организации гражданской обороны и создании объектового звена единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций ТПУ [Текст]: Приказ НИ ТПУ от 09.12. 2015 г. N 15610. – Томск, 2006. - 15с.
5. Об утверждении Порядка создания нештатных аварийно-спасательных формирований [Текст]: Приказ МЧС РФ от 23.12. 2005 г. N 999 // Бюллетене нормативных актов федеральных органов исполнительной власти. – 2006. - № 6.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ПОСТРАДАВШИХ В СЕЛИТЕБНОЙ ЗОНЕ В СЛУЧАЕ МГНОВЕННОГО РАЗРУШЕНИЯ МАГИСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА

А.М. Кокушева студент группы 1ЕМ61, науч. руководитель А.И. Сечин д.т.н., профессор

Томский политехнический университет

634050, г. Томск пр. Ленина 30, тел. (3822)-12-34-56

E-mail: kokusheva.aia@mail.ru

Аннотация: Предложена пошаговая структурно-методологическая схема проведения исследования. Получен график зависимости выхода объема горючего материала из трубы от ее диаметра, дающий обоснование уменьшения зоны поражения в случае мгновенного разрушения магистрального газопровода. Для этого достаточно уменьшить расстояние между вентилями, разбивающими трубу на секции с 8 км до 4 км. При этом объем аварийного выброса снизится до 500 м³, что снизит все поражающие факторы.

Abstract: The step-by-step structural and methodological diagram of carrying out a research is offered. The diagram of dependence of an output of volume of combustible material from a pipe from its diameter giving reasons for reduction of a zone of defeat in a case of the instantaneous corrupting of the main gas pipeline is received. For this purpose, it is enough to reduce distance between the valves breaking a pipe into sections from 8 km to 4 km. At the same time, the volume of abnormal burst will decrease to 500 m³ that will lower all striking factors.

Любой современный мегаполис и даже самое маленькое поселение никак не обходятся без газотранспортных систем. Они обеспечивают подачу газа потребителям в необходимом объеме и требуемых параметров. Такие инженерные сооружения крайне опасны, даже самое мелкое их повреждение чревато большой аварией. Обеспечение безопасной и надежной эксплуатации магистральных газопроводов считается главной задачей предприятий, которые используют газотранспортные системы. От этой задачи зависит не только безопасное функционирование самих газовых магистралей и безопасность производственного персонала, но и безопасность жителей близлежащих населенных пунктов. Анализ и разработка мероприятий, направленных на обеспечение безопасного режима функционирования данной системы представляют актуальность как для населения селитебной зоны, так и для соответствующих организаций.

Для того чтобы определить характер возникшей чрезвычайной ситуации (ЧС), количество пострадавших в селитебной зоне в случае мгновенного разрушения магистрального газопровода рассмотрим сценарий развития ЧС.

По рассматриваемому сценарию в окружающую среду выделяется 1000 м³ природного газа. Плотность размещения людей в селитебной зоне: на открытой местности – 0,01 чел/м²; на автострате регионального значения (ширина дорожной полосы 6 м, направление параллельное газопроводу) – 0,05 чел/м²; в здании социально-административного назначения – 0,01 чел/м². Площадь: здания социально-административного назначения (располагается на автострате) – 300 м²; автостраты регионального значения определяем, как длину хорды в окружности радиусом 1500 м при указанной ширине. Для упрощения расчета принимаем, что действие поражающих факторов источника ЧС не выходит за территорию радиусом 1500 м. Трубопровод располагается на просеке шириной 60 м. Расстояния от места аварии до автостраты регионального значения – 500 м, до здания социально-административного назначения – 1500 м.

На первом шаге анализа определяем массу природного газа, участвующего в реакции. По сценарию произошло мгновенное разрушение резервуара, поэтому в реакции принимают участие 70500 кг природного газа (М), а при образовании огненного шара 60% массы газа (т), т.е. 42300 кг (масса газа в облаке ТВС).

Следующим шагом определяем режим взрывного превращения облака ТВС. По табл. 1. [1] определяем класс пространства, окружающего место аварии - 1 класс.

Таблица 1

Характеристика классов пространства, окружающего место аварии

№ класса	Характеристики пространства
1	Наличие труб, полостей и т.д.
2	Сильно загромождённое пространство: наличие замкнутых объемов, высокая плотность размещения технологического оборудования, лес, большое количество повторяющихся препятствий.
3	Сильно загромождённое пространство: отдельно стоящие технологические установки, резервуарный парк.
4	Слабо загромождённое пространство и свободное пространство.

По классификации взрывоопасных веществ определили класс взрывоопасного вещества - 4 класс. По режиму взрывного превращения облаков топливно-воздушных смесей определили вероятный режим взрывного превращения - 3 режим.

Далее определяем радиусы зон разрушений. Для этого находим вспомогательный коэффициент (а) для определения размеров зон разрушений и расстекления зданий от ударной воздушной волны при авариях на пожаровзрывоопасных объектах. Для нашего 3 режима коэффициент для промышленных зданий при полной степени разрушения равен 1,58 ($a = 1,58$).

По выражению (1) определяем радиусы действия поражающих факторов при аварии на пожаровзрывоопасном объекте, и находим условную массу вещества (М'). в результате проведенных расчетов получили $M' = 1,9$.

$$R_i = 10^{(0,32 \lg M + a)} = 10^{R'}, \quad (1)$$

где R_i - радиус зоны поражения людей воздушной ударной волной или зоны порога поражения, м; М – масса топлива, участвующая в реакции (70,5 т); а – вспомогательный коэффициент; R' - условный радиус зоны поражения людей воздушной ударной волной или зоны порога поражения.

Так же определяем радиус полных разрушений $R_1 = 160$, ($R = 10^{2,2} = 158,5 \approx 159$ м).

Размеры зон полных, сильных, средних и слабых разрушений для промышленных и административных зданий представлены в таблице 2. Радиус зоны расстекления примерно равен 1782,4 м. Так как социально-административное здание расположено на расстоянии 1000 м, а автострада – на расстоянии 500 м, то они получают среднюю степень разрушения.

Таблица 2.

Размеры зон полных, сильных, средних и слабых разрушений для промышленных и административных зданий

Тип Здания	Степень разрушения и радиус зон, м.			
	Полные (1)	Сильные (2)	Средние (3)	Слабые (4)
Промышленные	148	257,6	408,3	1025,6
Административные	182	324,3	726,1	1625,5

Далее определяем число людей, пораженных воздушной ударной волной на открытой местности. Радиусы зон поражения людей воздушной ударной волной при авариях на пожаровзрывоопасных объектах также определяются с помощью вспомогательного коэффициента (а). Радиусы зон поражения людей воздушной ударной волной и зоны порога поражения можно определить с помощью следующей формулы:

$$R_i = 10^{(0,32 \lg M + a)} = 10^{R'},$$

где R_i - радиус зоны поражения людей воздушной ударной волной или зоны порога поражения, м; M – масса топлива, участвующая в реакции (70,5 т); a – вспомогательный коэффициент; R' – условный радиус зоны поражения людей воздушной ударной волной или зоны порога поражения.

Размеры зон поражения людей воздушной ударной волной и зоны порога поражения представлены в таблице 3.

Таблица 3

Размеры зон поражения людей воздушной ударной волной при авариях на пожаровзрывоопасных объектах

Номер зоны	Вероятность поражения людей, %	Размеры зон поражения людей воздушной ударной волной, м
6	99	100,3
5	90	110,0
4	50	123,4
3	10	155,4
2	1,0	191,2
1	Порог поражения	224,6

Находим число пострадавших людей в 6-ой зоне ($P'_m = 99\%$). Радиус зоны, в которой погибнет 99 % людей, составляет $R_{6m} = 100,3$ м.

Площадь зоны:

$$S_6 = \pi \times R_6^2,$$

$$S_6 = 3,14 \times 100,3^2 = 31588,7 \text{ м}^2.$$

Число погибших в шестой зоне

$$N_6 = S_6 \times \rho_{om} \times P_{6m},$$

где ρ_{om} - плотность персонала на открытой местности.

$$N_6 = 31588,7 \times 0,01 \times 0,99 = 312,7 \approx 313 \text{ чел.}$$

Число погибших, в пятой зоне $P_{5m} = 90\%$. Площадь зоны, в которой погибнет от 90 % до 99 % людей (в среднем 95%)

$$S_5 = S'_5 - S_6,$$

где S'_5 - суммарная площадь 5 и 6 зоны.

Радиус границы пятой зоны $R_5 = 110$ м, тогда

$$S_5 = 3,14 \times 110^2 - 3,14 \times 100,3^2 = 37994 - 31588,7 = 6405,3 \text{ м}^2.$$

Число пострадавших в пятой зоне

$$N_5 = 6405,3 \times 0,01 \times 0,95 = 60,8 \approx 61 \text{ чел.}$$

Число пострадавших в четвертой зоне (50-90 %)

$$N_4 = (3,14 \times 123,4^2 - 3,14 \times 110^2) \times 0,01 \times 0,7 = 68,7 \approx 69 \text{ чел.}$$

Число пострадавших в третьей зоне (10-50 %)

$$N_3 = (3,14 \times 155,4^2 - 3,14 \times 123,4^2) \times 0,01 \times 0,3 = 84 \text{ чел.}$$

Число пострадавших во второй зоне (1,0-10 %)

$$N_2 = (3,14 \times 191,2^2 - 3,14 \times 155,4^2) \times 0,01 \times 0,05 = 19,5 \approx 20 \text{ чел.}$$

Число пострадавших в пороге поражения (1,0 %)

$$N_1 = (3,14 \times 224,6^2 - 3,14 \times 191,2^2) \times 0,01 \times 0,01 = 4,3 \approx 4 \text{ чел.}$$

В ходе расчета общее число погибших людей от воздушной ударной волны на открытой местности составляет 551 человек.

После этого определяем число погибших людей, находящихся в социально-административных зданиях. Социально-административное здание, расположенное на расстоянии 1000 м, и автострада – на расстоянии 500 м, попали в зону средних разрушений (третью зону), в остальных зонах зданий нет. Количество людей, находящихся в социально-административном здании

$$N_{3ж} = S_{ж} \times \rho_{ж},$$

$$N_{3ж} = 300 \times 0,1 = 30 \text{ чел.}$$

где $S_{ж}$ - площадь социально-административного здания, м^2 ; $\rho_{ж}$ - плотность персонала в социально-административном здании.

На автострате количество людей составило $N_{3п} = 344 \text{ чел.}$

Вероятность выживания людей: $P_{4ж} = 98\%$; $P_{3ж} = 94\%$; $P_{2ж} = 85\%$; $P_{1ж} = 30\%$; $P_{4п} = 90\%$, $P_{3п} = 40\%$. Вероятность выживания людей в зоне средних разрушений (третьей зоне) в административных зданиях $P_{3ж} = 94\%$, в промышленных зданиях $P_{3п} = 40\%$. Число пострадавших людей в зданиях и на автострате рассчитываем по формуле:

$$N_3 = N_{3ж} \times (1 - P_{3ж}) + N_{3п} \times (1 - P_{3п}),$$

$$N_3 = 30 \times (1 - 0,94) + 344 \times (1 - 0,4) = 208,2 \approx 208 \text{ чел.}$$

Таким образом общее число погибших от воздушной ударной волны составляет 759 человек.

Следующим шагом определяем число людей, пораженных тепловым воздействием. Для этого производим расчет параметров огненного шара, а именно радиус огненного шара

$$R_{ош} = 3,2 \times m^{0,325},$$

$$R_{ош} = 3,2 \times 42300^{0,325} = 102,03 \text{ м.}$$

и время существования огненного шара

$$t = 0,85 \times m^{0,26},$$

$$t = 0,85 \times 42300^{0,26} = 13,56 \text{ с.}$$

Значение теплового потока на поверхности огненного шара диаметром более 10 м составляет 200 кВт/м.

При расчете площадь, покрываемая огненным шаром, составила $S_{ош} = 32687,78 \text{ м}^2$.

Считая, что вероятность гибели человека на площади, покрываемой огненным шаром равна 100 %, определяем число погибших людей по следующей формуле

$$N_{ош} = S_{ош} \times \rho_{ом},$$

$$N_{ош} = 32687,78 \times 0,01 = 326,9 \approx 327 \text{ чел.}$$

Затем определяем число погибших людей, находящихся в различных зонах теплового воздействия. Число погибших людей, находящихся в зоне, где вероятность их гибели составляет более 95 %, соответствует индекс дозы теплового излучения (J) $3,7 \cdot 10^3 \text{ кВт/м}^2$. Значит, радиус зоны, где наблюдается данный тепловой индекс, равен:

$$X_{95} = R_{ош} \times Q_0^{0,5} \times (t/J)^{3/8},$$

$$X_{95} = 102,03 \times 200^{0,5} \times (13,56/3700)^{3/8} = 176,03 \text{ м.}$$

Площадь зоны, где вероятность гибели людей более 95 % составляет:

$$S_{95} = 3,14 \times (176,03^2 - 102,03^2) = 64617,18 \text{ м}^2.$$

Число пострадавших в данной зоне составляет:

$$N_{95} = S_{95} \times P_{97,5} \times \rho_{ом},$$

$$N_{95} = 64617,18 \times 0,975 \times 0,01 = 630 \text{ чел.}$$

где $P_{97,5}$ - средняя вероятность гибели людей в зоне (на границе зоны вероятность гибели 95 %).

Аналогично производим расчет числа погибших людей, находящихся в зоне, где вероятность их гибели находится в пределах от 65 до 95 %. Индекс дозы теплового излучения для вероятности 65 % составляет 1500. В ходе расчета для данной зоны радиус составляет $X_{65} = 247,06 \text{ м}$, площадь зоны $S_{65} = 94363,53 \text{ м}^2$, число пострадавших в данной зоне $N_{65} = 754,9 \approx 755 \text{ чел.}$

Также определяем число погибших людей, находящихся в зоне, где вероятность их гибели в пределах от 25 до 65 %. Индекс дозы для данной зоны $J_{25} = 800$, радиус $X_{25} = 312,74$, площадь зоны $S_{25} = 115450,45 \text{ м}^2$. Количество людей, погибших в данной зоне – 520 человек.

Число погибших людей в зоне, где вероятность их гибели составляет от 5 до 25 %. Параметры зоны: $J_5 = 500$, радиус $X_5 = 373,01 \text{ м}$, площадь зоны $S_5 = 129787,56 \text{ м}^2$. Количество людей, погибших в

данной зоне 195 человек. Таким образом общее число пострадавших от теплового потока составляет 2427 чел.

$$N_{m.n} = N_{100} + N_{95} + N_{80} + N_{45} + N_{15},$$

$$N_{m.n} = 327 + 630 + 755 + 520 + 195 = 2427 \text{ чел.}$$

Завершающим шагом анализа находим общее количество людей, погибших на объекте в результате аварии. Количество пострадавших в зонах совместного действия воздушной ударной силы и теплового излучения определяется на основе сложения вероятности гибели людей от двух поражающих факторов. Количество погибших людей на площади, покрываемой огненным шаром и в зоне гибели людей от ударной волны с вероятностью 0,99. В данной зоне ограниченной окружностью с радиусом 100,3 м погибнет 100 % персонала, т.е. 313 человек. Количество погибших людей в 5-ой зоне действия ударной волны и в зоне теплового потока, где вероятность гибели составляет 97,5 % определяется из следующего выражения

$$N_{5,95} = S_5 \times \rho_{om} \times (P_{95} + P_{97,5} - P_{95} \times P_{97,5}),$$

$$N_{5,95} = 6405,3 \times 0,01 \times (0,95 + 0,975 - 0,95 \times 0,975) = 63,97 \approx 64 \text{ чел.}$$

Количество людей, погибших в 4-ой зоне действия ударной волны и в зоне теплового потока (97,5 %)

$$N_{4,95} = 9814,3 \times 0,01 \times (0,7 + 0,975 - 0,7 \times 0,975) = 97,4 \approx 97 \text{ чел.}$$

Количество погибших в 3-ей зоне действия ударной волны в зоне теплового потока (97,5 %)

$$N_{3,95} = 28000 \times 0,01 \times (0,3 + 0,975 - 0,3 \times 0,975) = 275 \text{ чел.}$$

Количество погибших в зоне действия теплового потока (вероятность гибели 97,5 %)

$$N_{95} = 3,14 \times (176,03^2 - 155,4^2) \times 0,01 \times 0,975 = 209,32 \approx 209 \text{ чел.}$$

Число пострадавших определяем только для части зоны, т.е. в зоне, ограниченной радиусами 176,03 м (радиус зоны теплового потока) и 155,4 м (радиус 3-ей зоны ударной волны). Рассчитываем количество погибших во всех зонах совместного действия воздушной ударной волны и теплового потока

$$N_{6-3,95} = 64 + 97 + 275 + 209 + 313 = 958 \text{ чел.}$$

Таким образом общее количество погибших в результате аварии на пожаровзрывоопасном объекте составляет

$$N_{общ} = N_{6-3,95} + N_{m.n.} + N_z = 958 + 2427 + 208 = 3593 \text{ чел.}$$

По результатам проведенного исследования можно сделать вывод о том, что социально-административное здание, расположенное на расстоянии 1000 м и автострада, располагающаяся на расстоянии 500 м, получают среднюю степень разрушения.

Также было установлено, что общее число погибших людей от воздушной ударной волны на открытой местности – 551 человек, число пострадавших людей в зданиях и на автостраде – 208 человек, общее число погибших от воздушной ударной волны – 759 человек, общее число пострадавших от теплового потока – 2427 человек. Общее количество погибших в результате аварии на пожаровзрывоопасном объекте – 3593 человек.

На основании проведенных исследований был построен график (рисунок 1) зависимости выхода объема горючего материала из трубы от ее диаметра, из которого следует, чтобы уменьшить зону поражения достаточно изменить объем поступающего горючего из трубы. Для этого достаточно уменьшить расстояние между вентилями, разбивающими трубу на секции с 8 км до 4 км. При этом объем аварийного выброса снизится до 500 м³, а значит и все поражающие факторы существенно снизятся.

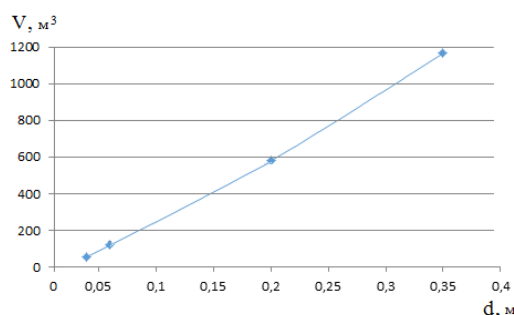


Рис.1. График зависимости выхода объема горючего материала из трубы от ее диаметра

Несмотря на то, что газотранспортные системы – это опасные инженерные конструкции для населения и рабочего персонала, они являются неотъемлемой частью системы жизнеобеспечения селитебной зоны. Поэтому для безопасного функционирования этих систем предлагается пошаговая структурно-методологическая схема проведения исследования (рисунок 2).



Рис. 2. Пошаговая структурно-методологическая схема проведения исследования

Предложенная схема проведения исследования позволяет обосновать если не изменение размеров селитебной зоны, то уменьшение количества выброшенного газа в результате аварии. Данное мероприятие позволит свести к минимуму количество жертв при мгновенном разрушении магистрального газопровода.

Литература.

1. Козлитин А.М., Попов А.И., Козлитин П.А. Теоретические основы и практика анализа техногенных рисков. Вероятностные методы количественной оценки опасностей техносферы. Саратов: СГТУ, 2002. 178 с.
2. Козлитин А.М., Яковлев Б.Н. Чрезвычайные ситуации техногенного характера. Прогнозирование и оценка: детерминированные методы количественной оценки опасностей техносферы: Учеб. пособие / Под ред. А.И. Попова. Саратов: СГТУ, 2000. 124 с.
3. Атаманюк В.Г. и др. Гражданская оборона: Учебник для вузов/ В.Г. Атаманюк, Л.Г. Шершнев, Н.И. Акимов; Под ред. Д.И. Михайлика, - М: Высш. шк., 1986, 207 с.